

# Perancangan Antena *Array Dual-Band* Berbasis *Asymmetric Inset-fed* untuk Aplikasi 5G Pada Spektrum *Mid-Band*

Dian Rusdiyanto<sup>1</sup>, Dian Widi Astuti<sup>2</sup>, Catur Apriono<sup>3</sup>, Yohanes Galih Adhiyoga<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik  
Universitas Mercu Buana, Jakarta

<sup>1</sup>dian.rusdiyanto@mercubuana.ac.id, <sup>2</sup>dian.widiastuti@mercubuana.ac.id

<sup>3</sup>Departemen Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik  
Universitas Indonesia, Jawa Barat  
catur.apriono@ui.ac.id

<sup>4</sup>Pusat Riset Telekomunikasi  
Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung  
yoha019@brin.go.id

## Abstrak

Penelitian ini mengajukan perancangan antena yang mampu beroperasi di dua frekuensi pada aplikasi 5G spektrum *mid-band*, yaitu frekuensi 2,6 GHz dan 3,5 GHz. Material yang digunakan pada perancangan berupa substrat RT/Duroid 5880 yang memiliki ketebalan 1,575 mm dan nilai konstanta dielektrik 2,2. Metode yang digunakan untuk mencapai dual-band frekuensi yaitu teknik *inset-fed* yang tidak simetris yang terletak pada sisi saluran pencatu. Selain itu, penelitian ini juga mengajukan metode antena susun (*array*) untuk meningkatkan *gain* antena. Perancangan dimulai dengan merancang bentuk *patch* persegi panjang dengan *inset-fed* yang simetris, kemudian dimodifikasi dalam bentuk yang tidak simetris. Selanjutnya, *patch inset-fed* yang tidak simetris disusun menjadi elemen *array* 2x2. Hasil simulasi menunjukan antena dengan menggunakan metode *inset-fed* mampu menghasilkan dua frekuensi resonan. Sementara itu, *gain* antena *array* yang dihasilkan pada frekuensi 2,6 GHz bernilai 10,6 dBi dan pada frekuensi 3,5 GHz bernilai 13,1 dBi. Hasil tersebut menunjukkan metode yang diajukan pada penelitian ini terbukti mampu menghasilkan *dual-band* frekuensi dan memiliki *gain* yang tinggi, sehingga mampu diaplikasi pada spektrum *mid-band* 5G.

**Kata kunci:** dual-band, *inset-fed*, 5G, antena susun

## Abstract

This study proposes the design of a *dual band* antenna based on asymmetric *inset-fed* in the 5G *mid-band* spectrum application, which are 2.6 GHz and 3.5 GHz. The material used in the design is an RT/Duroid 5880 substrate with a thickness of 1.575 mm and a dielectric constant value of 2.2. The method used to achieve dual-band frequencies is the asymmetric *inset-fed* technique located on the side of the feedline. In addition, this study also proposes an *array* method to increase antenna *gain*. The design begins by designing a rectangular *patch* shape with a symmetric *inset-fed*, then modified into an asymmetric shape. Furthermore, the

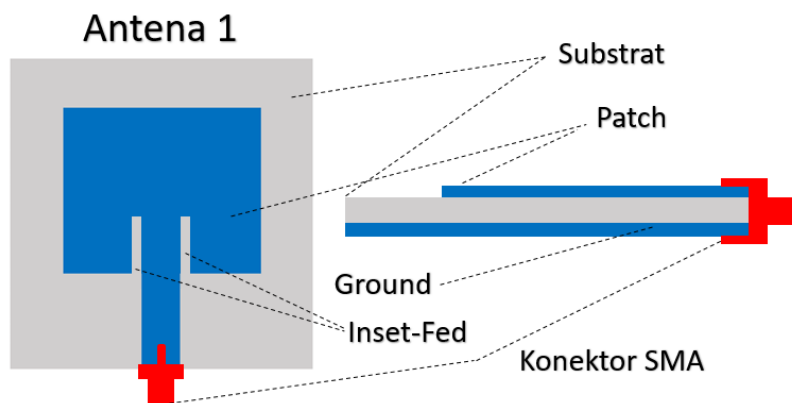
asymmetric *inset-fed patch* is arranged into a  $2 \times 2$ -array element. The simulation results show that the antenna using the *inset-fed* method is capable of producing two resonant frequencies. Meanwhile, the *gain* of the resulting *array* antenna at a frequency of 2.6 GHz is 10.6 dBi and at a frequency of 3.5 GHz is 13.1 dBi. These results show that the method proposed in this study is proven to be able to produce dual-band frequencies and has high *gain*, so it meets the agreement to the 5G *mid-band* spectrum.

**Keywords:** dual-band, *inset-fed*, 5G, *array*

## 1. Pendahuluan

Perkembangan sistem komunikasi semakin meningkat seiring dengan tuntutan kebutuhan manusia terhadap akses teknologi yang cepat dan dapat digunakan kapan saja dan dimana saja. Perkembangan yang paling dominan saat ini salah satunya ada pada sistem komunikasi seluler, yaitu teknologi generasi kelima (5G)[1]. Sistem 5G menawarkan akses data yang cepat, mempunyai jaringan yang stabil dan latensi yang rendah. Di beberapa negara, sistem 5G mempunyai konfigurasi yang berbeda-beda, seperti frekuensi yang digunakan pada setiap negara tidak selalu sama. Walaupun demikian, frekuensi yang sudah distandarisasi di dunia berada pada area *low-band* (di bawah 2,1 GHz), *mid-band* (2,6 GHz dan 3,5 GHz) dan *millimeter-band* (26 GHz, 28 GHz, 35 GHz, dan 40 GHz) [2].

Teknologi 5G masih terus mengembangkan performanya baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Perangkat keras yang banyak dikembangkan beberapa tahun terakhir salah satunya antenna. Antena berperan penting dalam mengakomodir sinyal yang dikirim dan diterima [3]. Kapasitas antena juga memengaruhi seberapa besar data yang dapat dibawa dalam suatu frekuensi. Beberapa struktur antena 5G telah dikembangkan untuk mencapai tujuan tertentu seperti peningkatan *bandwidth* [4][5] dan *gain* [6]. Selain itu, pengembangan antena untuk dapat beresonansi di beberapa frekuensi juga telah diteliti.



Gambar 1. Struktur antena dengan metode *inset-fed*

Penelitian ini mengajukan perancangan antena 5G yang dapat beroperasi pada spektrum *mid-band*, khususnya pada frekuensi 2,6 GHz dan 3,5 GHz, atau dikenal dengan frekuensi 5G sub-6 GHz [7]. Metode yang diusulkan berupa metode *inset-fed* asimetris yang dapat menghasilkan *dual-band* frekuensi. Untuk meningkatkan *gain* antena, dilakukan metode antena susun (*array*) dengan proses  $1 \times 2$  elemen dan  $2 \times 2$  elemen. Sebelumnya penelitian mengenai antena 5G yang menghasilkan dua resonansi frekuensi telah dilakukan oleh [8] yang menggunakan *patch* lingkaran dengan *slot* di bagian *patch* dan *ground*. Penelitian ini menghasilkan frekuensi resonan di 28 GHz dan 29 GHz.

Walaupun demikian, *gain* maksimal yang dihasilkan hanya 6,19 dBi. Penggunaan *inset-fed* biasanya digunakan dalam memaksimalkan impedansi agar lebih sesuai, seperti yang dilakukan oleh [9]. Namun metode tersebut hanya menghasilkan satu frekuensi resonan. Untuk itu, penggunaan *inset-fed* yang tidak simetris dilakukan untuk mendapatkan frekuensi lain yang timbul akibat modifikasi dari area di saluran pencatu [10]. Struktur antena mikrostrip yang menggunakan *inset-fed* dapat dilihat pada Gambar 1, dimana *inset-fed* berbentuk celah yang terletak di samping kiri dan kanan saluran pencatu [11].



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Penelitian ini juga mengajukan proses *array* untuk meningkatkan *gain* antena. Proses yang diajukan secara bertahap, mulai dari 1x2 elemen sampai 2x2 elemen. Proses *array*

telah terbukti meningkatkan *gain* antenna [12], [13]. Metode *array* untuk antenna 5G telah diajukan oleh [14] dimana beroperasi pada frekuensi 37 GHz – 40 GHz, dan menghasilkan *gain* maksimal kira-kira di bawah 13 dBi. Dengan beberapa referensi tersebut, penelitian ini mengajukan kombinasi metode *inset-fed* asimetris yang bertujuan untuk menghasilkan dua frekuensi resonansi dan metode *array* untuk meningkatkan *gain* antenna.

## 2. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai teknologi 5G beserta spesifikasi perangkat terutama antenna. Penentuan spesifikasi beresensi untuk merancang dan menghitung dimensi dari antenna 5G. Secara umum, proses penelitian dapat dilihat pada diagram alir di Gambar 2.

Perhitungan dimensi antenna diawali dengan melihat material penyusun antenna. Seperti yang terlihat pada gambar 1, antenna disusun atas material substrat, *patch*, *ground* dan konektor. Substrat yang digunakan berupa RT/Duroid 5880 yang memiliki konstanta dielektrik 2,2 dan ketebalan 1,575 mm. Elemen *patch* dan *ground* terbuat dari material tembaga dengan ketebalan 0,035 mm. Sedangkan konektor yang digunakan berjenis SMA *female*.

Selanjutnya perancangan antenna menggunakan *patch* berbentuk persegi panjang yang belum menggunakan *inset-fed*. Dimensi *patch* dihitung dengan menentukan lebar dan panjangnya. Lebar  $W$  dapat dihitung dengan Persamaan (1), dimana  $v_0$  merupakan kecepatan cahaya di ruang bebas,  $f_r$  frekuensi resonan, dan  $\epsilon_r$  konstanta dielektrik [3]:

$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Sedangkan untuk mencari panjang aktual  $L$  ditentukan dengan Persamaan (2)

$$L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

Konstanta dielektrik efektif  $\epsilon_{reff}$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3), sedangkan untuk menentukan perpanjangan panjang yang dinormalisasi  $\Delta L$  dapat ditentukan dengan Persamaan (4).

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \left( \frac{h}{W} \right) \right]^{-1/2} \quad (3)$$

$$\Delta L = (h) 0,412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left( \frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left( \frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (4)$$

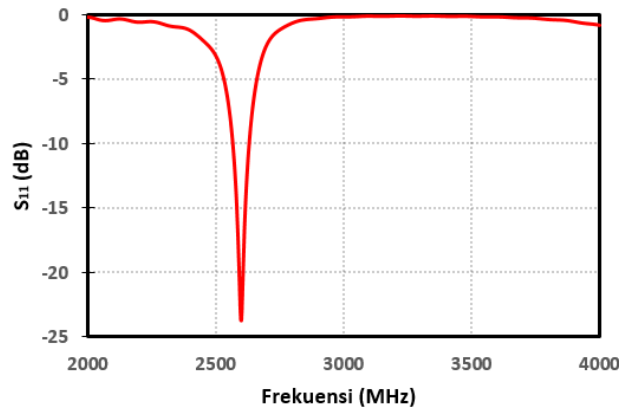
Dari persamaan (1-4) maka diketahui nilai  $W$  dan  $L$  dari antenna sebesar 45,6 mm dan 38,1 mm. Perhitungan ini menggunakan spesifikasi material dielektrik dengan frekuensi resonan 2,6 GHz. Untuk dimensi saluran pencatu  $W_f$  dapat ditentukan dengan persamaan (5-6) untuk impedansi 50  $\Omega$ .

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (6)$$

$$B = \frac{60 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (7)$$

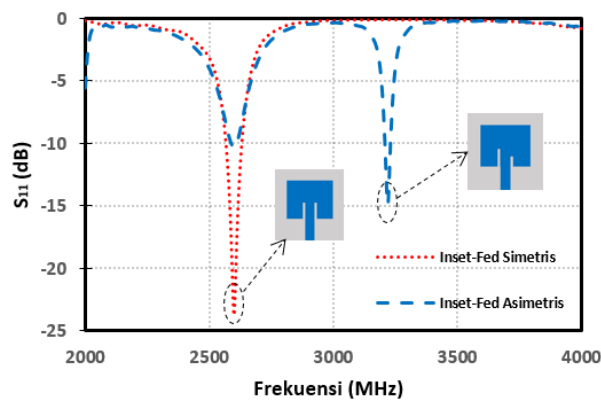
Setelah melakukan proses perhitungan dimensi *patch*, kemudian hasilnya dituangkan dalam bentuk perancangan di *software* seperti yang terlihat pada Antena 1. Antena 1 mempunyai dimensi substrat 57 mm x 70 mm, dengan ukuran *patch* setelah iterasi 37,9 mm

x 45 mm. Celah sisi kanan dan kiri pada saluran pencatu masing-masing mempunyai lebar 2 mm dan panjang 10 mm. Hasil S-Parameter terlihat pada Gambar 3 dimana menunjukkan *matching* impedansi yang terlihat baik pada frekuensi 2,6 GHz yang memiliki nilai koefisien refleksi -23,7 dB. *Bandwidth* yang dihasilkan pada Antena 1 sebesar 65 MHz dengan rentang frekuensi dari 2,566 GHz sampai 2,631 MHz. Hasil ini telah sesuai dengan perancangan awal dimana frekuensi resonan berada pada frekuensi 2,6 GHz. Walaupun demikian, desain ini belum menghasilkan multi resonan.



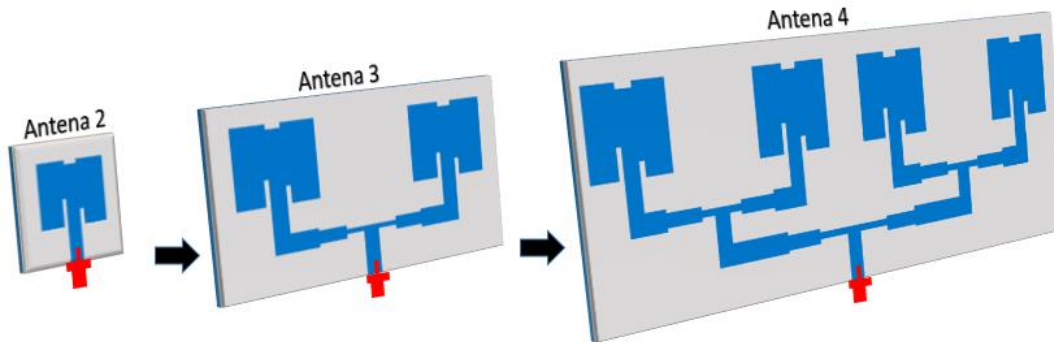
Gambar 3. S-parameter Antena 1

Untuk menghasilkan dua frekuensi yang dapat beresonansi dilakukan pengembangan antena dalam model *inset-fed* yang asimetris. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4. Dengan mengubah ukuran *inset-fed* pada sisi yang lain, maka menghasilkan frekuensi resonan baru.



Gambar 4. Perbandingan  $S_{11}$  Antena antara *inset-fed* simetris dan asimetris

Selain itu, untuk meningkatkan *gain* dilakukan pemodelan *array* seperti yang terlihat pada Gambar 5. Saluran pencatu pada pada desain ini menggunakan metode *quarter wave transformer* untuk impedansi 50  $\Omega$ , 70,7  $\Omega$  dan 100  $\Omega$  [15].



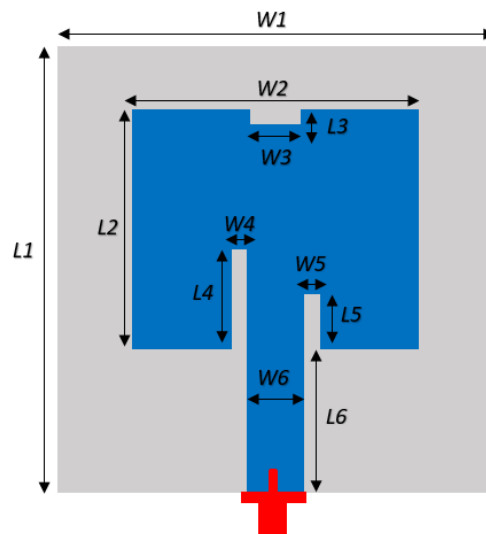
Gambar 5. Geometri pengembangan antenna

### 3. Hasil dan Pembahasan

Struktur Antena 2 diajukan dengan membuat *inset-fed* yang tidak simetris antara sisi kiri dan kanan seperti yang terlihat pada Gambar 6. Selain itu digunakan penambahan celah atau pemotongan pada sisi atas *patch* yang berbentuk persegi panjang. Penggunaan celah pada bagian atas berguna untuk melakukan peningkatan kualitas koefisien refleksi pada frekuensi resonan.

Tabel 1 menunjukkan nilai dari masing-masing parameter yang telah melalui proses optimasi. Berdasarkan Tabel 1 terlihat dimensi *patch* lebih kecil dari hasil perhitungan karena adanya pengaruh lebar dan panjang *patch* terhadap pergeseran frekuensi. Berdasarkan hasil pengujian, nilai koefisien refleksi tidak berubah jika nilai pada kedua *inset-fed* bertukar tempat. Jadi, pertukaran posisi asimetris pada *inset-fed* akan tetap mempunyai nilai koefisien refleksi yang sama.

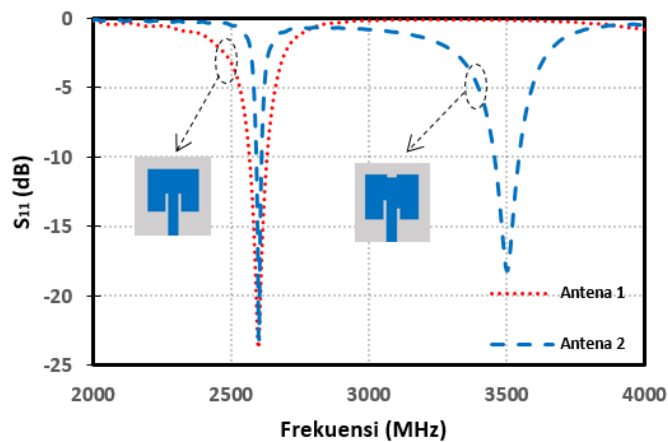
Gambar 6 menunjukkan perbandingan nilai  $S_{11}$  dari Antena 1 dan Antena 2, dimana dimensi Antena 2 telah dioptimasi sesuai dengan nilai pada tabel 1. Antena 2 menghasilkan frekuensi resonan di 2,6 GHz dan 3,5 GHz. Nilai  $S_{11}$  pada frekuensi 2,6 GHz berada pada -22,8 dB, sedangkan pada frekuensi 3,5 GHz memiliki nilai -18,2 dB.



Gambar 6. Struktur dan dimensi Antena 2

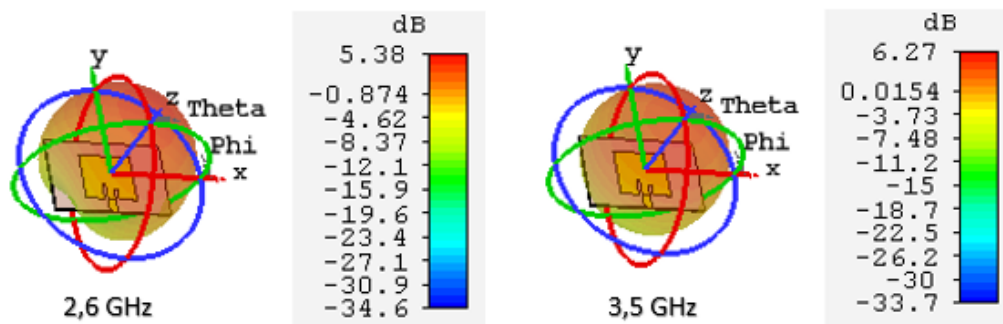
Tabel 1. Dimensi Antena 2

Parameter	Ukuran (mm)
W1	45
L1	70
W2	31
L2	28,3
W3	5
L3	1,3
W4	2
L4	10
W5	2
L5	6,5
W6	4,8
L6	8,3



Gambar 7. Perbandingan  $S_{11}$  Antena 1 dan Antena 2

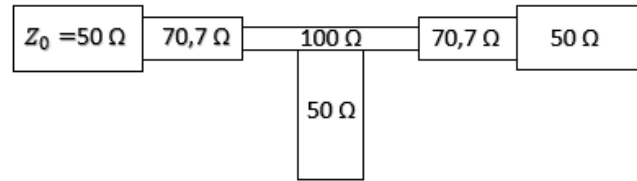
Pada Gambar 7, walaupun antena 2 menghasilkan *dual-band* frekuensi, namun terjadi penyempitan *bandwidth* di frekuensi tengah 2,6 GHz. Antena 2 hanya memiliki *bandwidth* 20 MHz yang dengan rentang dari frekuensi 2,591 GHz – 2,611 GHz. Sedangkan Antena 1 mempunyai *bandwidth* 38 MHz, pada rentang 2,592 GHz – 2,630 GHz. Pada frekuensi 3,5 GHz, *bandwidth* Antena 2 sebesar 89 MHz dari rentang frekuensi 3,455 GHz – 3,544 GHz. Sedangkan Antena 1 tidak beresonansi di frekuensi 3,5 GHz.



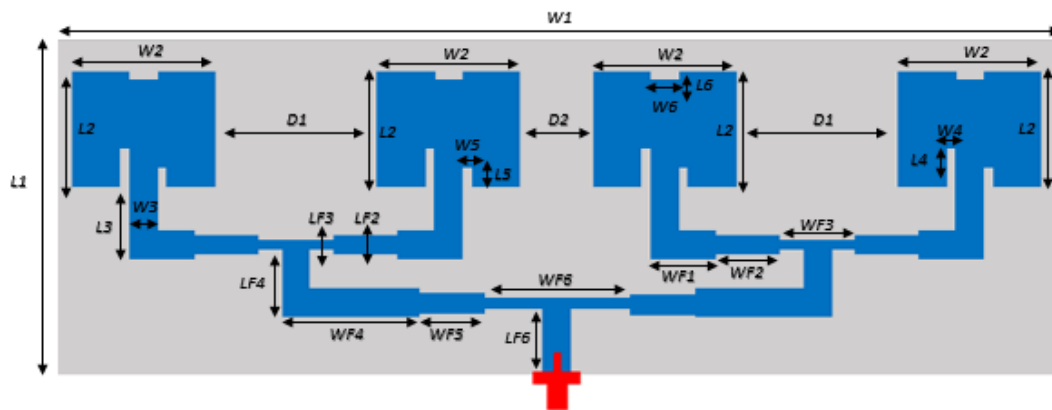
Gambar 8. *Gain* Antena 2

Gambar 8 menunjukkan *gain* Antena 2 yang dilihat dari sudut  $\phi=90^\circ$ . Pada gambar tersebut terlihat frekuensi 2,6 GHz memiliki *gain* sebesar 5,38 dBi. Sedangkan *gain* pada frekuensi 3,5 GHz bernilai 6,27 dBi.

Selanjutnya, untuk meningkatkan *gain* antena, dilakukan metode *array* (susun) yang diawali dengan perancangan 1x2 elemen (Antena 3). Kemudian dilanjutkan dengan desain 2x2 elemen (Antena 4), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Metode *feeding* yang digunakan pada desain *array* berupa *quarter wave transformer* dimana konfigurasinya tertuang pada Gambar 9.



Gambar 9. Konfigurasi feeding quarter wave transformer



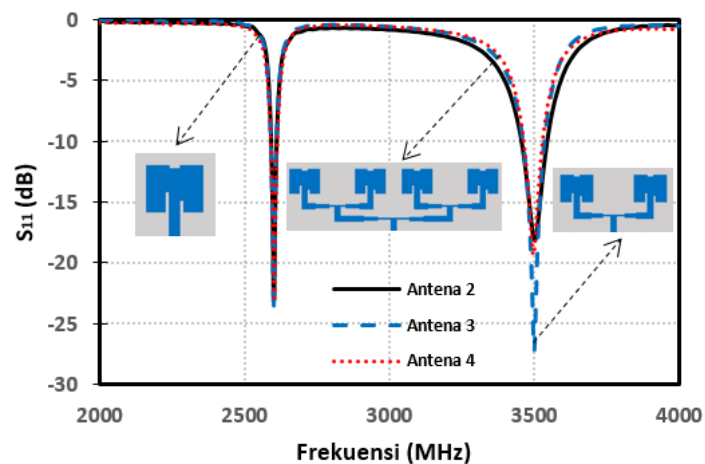
Gambar 10. Geometri Antena 4

Secara berurutan, nilai impedansi 50 Ω, 70,7 Ω dan 100 Ω, memiliki lebar pencatu 4,8 mm (W3), 2,77 mm (LF2), 1,38 mm (LF3). Geometri Antena 4 ditampilkan pada Gambar 10, dimana terdiri dari 2x2 elemen yang terpisah oleh  $D1$  dan  $D2$ .  $D1$  ditentukan menggunakan persamaan seperempat panjang gelombang, sedangkan  $D2$  menggunakan seperdelapan panjang gelombang. Nilai dimensi dari hasil iterasi maksimum dapat dilihat pada Tabel 2, dengan komposisi dasar menggunakan dimensi pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Antena 4

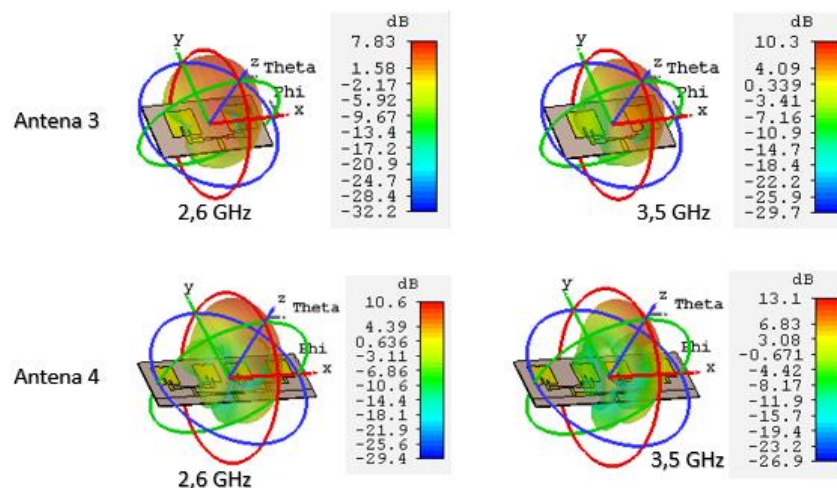
Parameter	Ukuran (mm)
D1	31
D1	17
W1	235
L1	69
W3	4,8
L3	8,3
WF1	16,8
WF2	9
WF3	15,2
WF4	24,8
WF5	20
WF6	25,15
LF6	13,7





Gambar 11. Perbandingan  $S_{11}$  Antena 2, Antena 3, dan Antena 4

Perbandingan  $S_{11}$  nilai dari masing-masing antena dapat dilihat pada Gambar 11. Secara umum tidak ada perbedaan yang signifikan dari masing-masing desain. Sehingga dengan adanya penambahan elemen *array*, frekuensi kerja di 2,6 GHz dan 3,5 GHz masih dapat beroperasi dengan baik. Walaupun demikian, jika melihat secara jelas di frekuensi 3,5 GHz, nampak elemen 2x2 mempunyai *bandwidth* yang sedikit mengecil.



Gambar 12. *Gain* Antena 3 dan Antena 4

Hasil simulasi medan jauh dari Antena 3 dan Antena 4 dapat dilihat pada Gambar 12. Gambar 12 menampilkan pola radiasi dan *gain* masing-masing antena. Antena 2 mempunyai *gain* 7,83 dBi dan 10,3 dBi pada frekuensi 2,6 GHz dan 3,5 GHz secara berurutan. Dengan urutan frekuensi yang sama, Antena 4 memiliki *gain* 10,6 dBi dan 13,1 dBi.

Perbandingan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan referensi yang ditampilkan, terlihat kebaruan yang tampak berupa metode *inset-fed* yang tidak simetris belum digunakan untuk *dual-band* frekuensi 5G di 2,6 GHz dan 3,5 GHz secara bersamaan. Selain itu, metode *array* yang diajukan telah berhasil meningkatkan *gain* antena.

Tabel 3. Perbandingan penelitian

Referensi	Metode	Band	Frekuensi	Gain
[7]	Slot di patch dan ground	Dual band	28 GHz 39 GHz	3,12 dBi 4,74 dBi
[8]	Symmetric Inset-fed	Single Band	3,5 GHz	13,03 dBi
[11]	Dipole quarter wave	Dual band	5,9 GHz 28 GHz	-3,13 dBi 10,39 dBi
[12]	Folded dipole	Dual band	2,4 GHz 5,8 GHz	15,1 dBi 17,3 dBi
Penelitian ini	Asymmetric Inset-fed	Dual band	2,6 GHz 3,5 GHz	10,6 dBi 13,1 dBi

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini telah menyajikan perancangan antenna mikrostrip yang memiliki dua frekuensi resonan akibat adanya metode *inset-fed* yang tidak simetris. Frekuensi yang dihasilkan dapat bekerja pada aplikasi 5G di spektrum *mid-band*, yaitu 2,6 GHz dan 3,5 GHz. Desain antenna dengan elemen tunggal dan elemen *array* telah berhasil bekerja pada dua frekuensi tersebut dan menghasilkan *gain* yang tinggi, yang mencapai 13,1 dBi. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa metode *inset-fed* yang tidak simetris telah berhasil membangkitkan *dual-band* frekuensi dan metode *array* dapat meningkatkan *gain* yang antenna yang mampu bekerja pada frekuensi 5G.

#### Daftar Pustaka

- [1] A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206–1232, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2461602.
- [2] A. Tikhomirov, E. Omelyanchuk, and A. Semenova, "Recommended 5G frequency bands evaluation," *2018 Syst. Signals Gener. Process. F. Board Commun.*, vol. 2018-January, no. 14, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/SOSG.2018.8350639.
- [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory; Analysis And Design*, Thrid Edit. New Jersey, 2005. doi: 10.1109/proc.1984.12959.
- [4] H. Chu, P. Li, X. H. Zhu, H. Hong, and Y. Guo, "Bandwidth Improvement of Center-Fed Series Antenna Array Targeting for Base Stations in Offshore 5G Communications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 33537–33543, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2904284.
- [5] D. Rusdiyanto, D. W. Astuti, and C. Apriono, "Perancangan Antena Ultra Wideband Dengan Metode Coplanar Waveguide dan Matching Stub Untuk Aplikasi Wireless Body Area Network," *InComTech: Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 14, no. 2, pp. 107–118, 2024, doi: 10.22441/incomtech.
- [6] L. Wen, Y. Zhiqiang, L. Zhu, and J. Zhou, "High-Gain Dual-Band Resonant Cavity Antenna for 5G Millimeter-Wave Communications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 20, no. 10, pp. 1878–1882, 2021, doi: 10.1109/LAWP.2021.3098390.
- [7] D. Rusdiyanto, D. W. Astuti, M. Muslim, S. Alam, and Y. G. Adhiyoga, "Design of 2x2 Wide Bandwidth MIMO Antenna For LTE And 5G Sub-6GHz," *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 225–238, 2022, doi: 10.31289/jite.v5i2.5699.
- [8] H. M. A. Rahman, M. N. A. Shovon, M. M. Khan, and T. M. Alanazi, "Dual-Band Self-Complementary 5G Antenna for Wireless Body Area Network," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/6513526.

- [9] A. Yudi Putranto, S. Alam, I. Surjati, Y. Kurnia Ningsih, L. Sari, and P. A. Paristiawan, "Perancangan Antena Mikrostrip Circular Patch dengan Inset-Feed dan Array pada Frekuensi 3.5 GHz untuk Sistem Komunikasi 5G," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 22, no. 1, pp. 129–142, 2023, doi: 10.31358/techne.v22i1.353.
- [10] Madhav, "A Novel Asymmetric Inset Feed Octagon Geometry Microstrip Patch Antenna for WPAN," *The International Journal of Special Education*, vol. 37, no. 3, pp. 5891–5897, 2022..
- [11] H. Chemkha and A. Belkacem, "Design of new inset fed rectangular microstrip patch antenna with improved fundamental parameters," *DTS 2020 - IEEE Int. Conf. Des. Test Integr. Micro Nano-Systems*, no. 4, pp. 9–12, 2020, doi: 10.1109/DTS48731.2020.9196068.
- [12] S. R. Govindarajulu, R. Hokayem, and E. A. Alwan, "Dual-Band Antenna Array for 5.9 GHz DSRC and 28 GHz 5G Vehicle to Vehicle communication," *2020 IEEE Int. Symp. Antennas Propag. North Am. Radio Sci. Meet. IEEECONF 2020 - Proc.*, pp. 1583–1584, 2020, doi: 10.1109/IEEECONF35879.2020.9330220.
- [13] Z. Wang, G. X. Zhang, Y. Yin, and J. Wu, "Design of a dual-band high-gain antenna array for WLAN and WiMAX base station," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 13, pp. 1721–1724, 2014, doi: 10.1109/LAWP.2014.2352618.
- [14] M. Peng and A. Zhao, "High performance 5G millimeter-wave antenna array for 37-40 GHz mobile application," *2018 IEEE Int. Work. Antenna Technol. iWAT2018 - Proc.*, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/IWAT.2018.8379148.
- [15] D. Prabhakar, P. M. Rao, and M. Satyanarayana, "Design and Performance of Resonant Spacing Linear Patch Array with Mitered Bend Feed Network for Wireless Applications," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 31, pp. 1–12, 2017, doi: 10.17485/ijst/2017/v10i31/92423.

This Page Intentionally Left Blank